

Содержание

1. Индивидуальные расчетные данные из приложения 2,3,4
 2. Расчет мощности и выбор электродвигателя
 - 2.1 Построение нагрузочной диаграммы
 - 2.2 Выбор электродвигателя методом эквивалентной мощности. Проверки выбранного двигателя.
 - 2.3 Проверка выбранного электродвигателя
 - 2.3.1 Проверка электродвигателя по пуску
 - 2.3.2 Проверка электродвигателя по перегрузочной способности.
 - 2.4 Метод средних потерь. Проверка выбранного двигателя по допустимому нагреву.
 - 2.4.1 Расчет уточненного значения коэффициента тепловой перегрузки - P_t .
 - 2.4.2 Расчет номинальных потерь мощности.
 - 2.4.3 Расчет средних потерь мощности.
 3. Расчет динамики электропривода
 - 3.1 Расчет и построение механической характеристики двигателя
 - 3.2 Расчет и построение механической характеристики рабочей машины
 - 3.3 Определение продолжительности пуска электродвигателя с нагрузкой
 - 3.3.1 Определение времени разгона электродвигателя графоаналитическим методом
 - 3.3.2 Определение времени разгона электродвигателя графическим методом
 - 3.4 Расчет потерь электроэнергии в асинхронном двигателе.
- Заключение
- Список использованной литературы

Из приложения 3

Таблица 1

Серия	Рном, кВт	пном, об/мин	cosφ	КПД	Ипуск/Ином
4A71B4	0,75	1390	0,73	72	4,5

продолжение таблицы 1

Мпуск/Мном	Ммакс/Мном	Ммин/Мном	Jдв	Масса, кг
2	2,2	1,8	0,0014	16,1

Из приложения 4

Таблица 2

Р1,кВт	Р2,кВт	Р3,кВт	Р4,кВт	t1,мин	t2,мин	t3,мин	t4,мин
2	8	4	2	22	12	8	10

Из приложения 5

Таблица 3

Время охлаждения (паузы)	12
Падение напряжения, U, %	10

2. Расчет мощности и выбор электродвигателя

2.1 Построение нагрузочной диаграммы.

Нагрузочная диаграмма – это зависимость мощности от времени. Для определения масштаба по оси времени находим время работы ($t_{раб}$) и время ($t_{цикл}$) цикла.

$$t_{раб} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 22 + 12 + 8 + 10 = 52 \quad \text{мин} \quad (1)$$

$$t_{ц} = t_{раб} + t_0 = 52 + 12 = 64.0 \quad \text{мин} \quad (2)$$

где t_0 – время охлаждения (паузы) из приложения 3.

Для определения масштаба по оси ординат из задания (таблица 1) находим максимальную мощность.

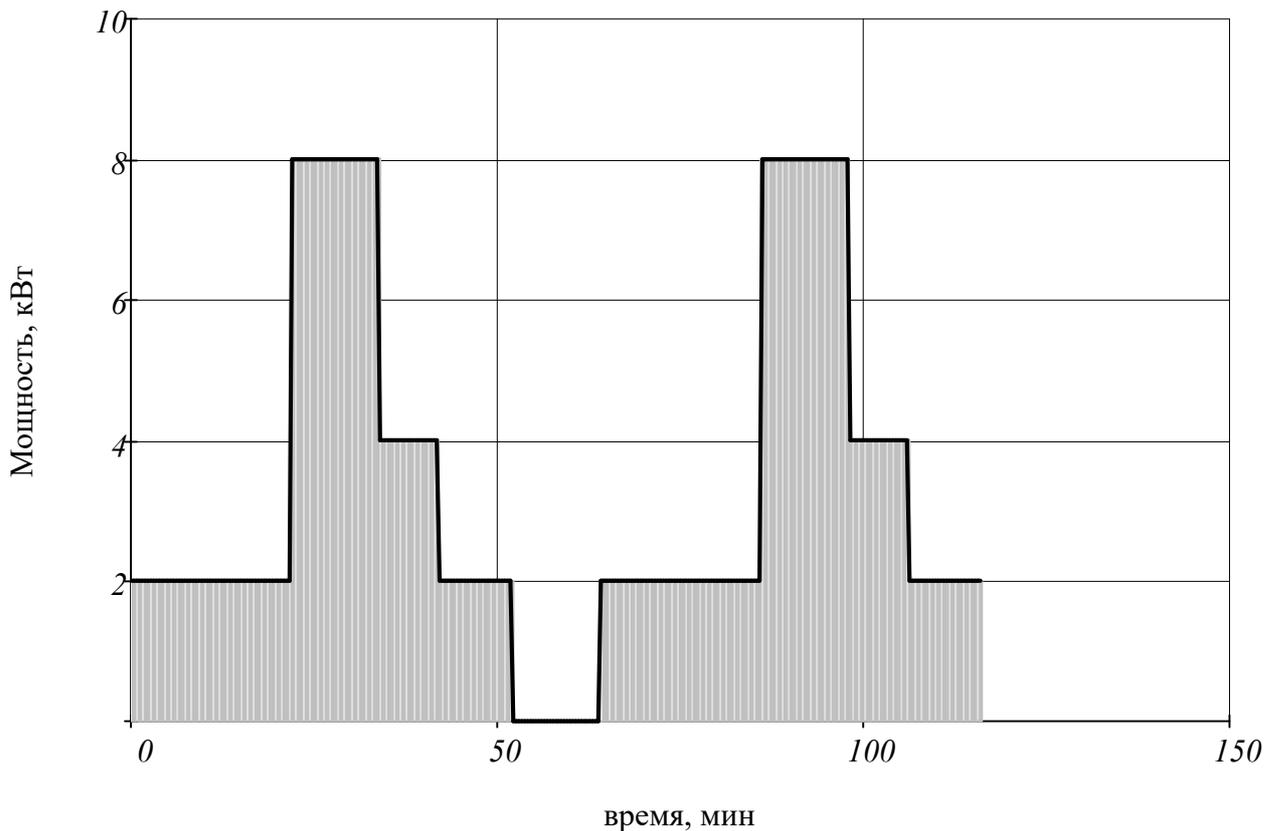
$$P_{макс} = 8 \cdot \text{кВт}$$

Эквивалентная по нагреву постоянная мощность нагрузки на валу электродвигателя рассчитывается по выражению:

$$P_{э} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3 + P_4^2 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} = \sqrt{\frac{2^2 \cdot 22 + 8^2 \cdot 12 + 4^2 \cdot 8 + 2^2 \cdot 10}{22 + 12 + 8 + 10}} \quad (3)$$

$$P_{э} = 4.438 \cdot \text{кВт}$$

Рисунок 1. Нагрузочная диаграмма электропривода.



2.2 Выбор электродвигателя методом эквивалентой мощности. Проверки выбранного двигателя.

Мощность электродвигателя из условия обеспечения его допустимого нагрева при работе определяется по соотношению

$$P_H \geq \frac{P_{\text{Э}}}{P_M} \quad (4)$$

где P_H — номинальная мощность электродвигателя, кВт;
 P_M — коэффициент механической перегрузки.

Коэффициент механической перегрузки P_M определяется через коэффициент тепловой перегрузки двигателя :

$$p_M = \sqrt{p_T \cdot (\alpha + 1) - \alpha} \quad (5)$$

где $\alpha = 0.6$ - отношение постоянных потерь мощности электродвигателя к переменным (Выбираем по таблице 6 для асинхронного двигателя);
 p_T - коэффициент тепловой перегрузки.

Для коэффициента тепловой перегрузки:

$$p_T = \frac{1 - e^{-\frac{t_{раб} + \beta \cdot t_0}{T_H}}}{1 - e^{-\frac{t_{раб}}{T_H}}} \quad (6)$$

где

$t_0 = 12$ мин - время охлаждения в рабочем цикле

$T_H = 20$ мин - постоянная времени нагрева электродвигателя. Для первоначального выбора мощности электродвигателя из условия допустимого нагрева принимают 20 мин

$t_{раб} = 52$ мин - продолжительность работы двигателя с нагрузкой;

$\beta = 0.5$ (Выбираем по таблице 5 методических указаний - самовентилируемый двигатель с крыльчаткой).

тогда коэффициент тепловой нагрузки

$$p_T = \frac{1 - e^{-\frac{t_{раб} + \beta \cdot t_0}{T_H}}}{1 - e^{-\frac{t_{раб}}{T_H}}} = \frac{1 - e^{-\frac{52 + 0.5 \cdot 12}{20}}}{1 - e^{-\frac{52}{20}}} = 1.02 \quad (7)$$

тогда коэффициент механической перегрузки

$$p_M = \sqrt{(\alpha + 1) \cdot p_T - \alpha} = \sqrt{(0.6 + 1) \cdot 1.02 - 0.6} = 1.02 \quad (8)$$

Расчитываем мощность электродвигателя

$$P_{дв} = \frac{P_{экв}}{p_M} = \frac{4.44}{1.02} = 4.35 \quad кВт \quad (9)$$

Выбранная марка двигателя не соответствует потребной мощности, поэтому по каталожным данным приложения №4 выберем другую марку двигателя

Таблица 4. Технические данные предварительно выбранного электродвигателя.

Мощность, $P_{ном}$, кВт	Коэффициент полезного действия, %	Коэффициент мощности, $\cos \chi$, о.е.	S ном, %	$\frac{M_{макс}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{макс}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{мин}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
5,5	84,5	0,85	3,666667	2	2,2	1,6	7

$$\text{Частота вращения двигателя: } n_{\text{НОМ}} = 1.445 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$\text{в системе СИ: } \omega_{\text{НОМ}} = 0.105 \cdot n_{\text{НОМ}} = 151.7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\text{Количество пар полюсов: } n_{\text{пол}} = 2$$

$$\text{Синхронная частота вращения: } n_0 = 1.5 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$\text{в системе СИ: } \omega_0 = 0.105 \cdot n_0 = 157.5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\text{Номинальный момент: } M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{5.5 \cdot 10^3}{151.7} = 36.26 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{Номинальное скольжение: } s_{\text{НОМ}} = \left(\frac{\omega_0 - \omega_{\text{НОМ}}}{\omega_0} \right) = 0.037$$

2.3 Проверка выбранного электродвигателя

2.3.1 Проверка электродвигателя по пуску

Для обеспечения надежного пуска электропривода мощность двигателя должна быть достаточной для выполнения условия

$$M_{\text{дв.пуск}} \geq M_{\text{тр}} + M_{\text{изб}} \quad (10)$$

где $M_{\text{дв.пуск}}$ - пусковой момент электродвигателя с учетом возможного снижения напряжения питания, Н*м;

$M_{\text{тр}}$ - момент трогания рабочей машины (статический момент), Н*м;

$M_{\text{изб}}$ - минимальный избыточный момент, необходимый для обеспечения пуска двигателя, Н*м.

При пуске привода с асинхронным двигателем должно выполняться условие:

$$\alpha_I \cdot M_{\text{дв.пуск}} \geq M_{\text{тр}} \quad (11)$$

где α_I - коэффициент, учитывающий снижение напряжения при пуске двигателей, принимается равным 0,81...0,5 (соответственно для $\Delta U = 10 \dots 30\%$) в зависимости от мощности запускаемого двигателя;

В нашем случае при снижении напряжения на $\Delta U = 10 \%$

Примем коэффициент равным $\alpha_I = 0.81$

Расчет левой части уравнения

Пусковой момент двигателя

$$M_{\text{дв.пуск}} = M_{\text{ном}} \cdot M_{\text{пуск}} \quad (12)$$

где $M_{\text{пуск}}$ - кратность пускового момента асинхронного двигателя,

$$M_{\text{пуск}} = 2 ;$$

$M_{\text{ном}}$ - номинальный момент двигателя, Н*м.

Тогда пусковой момент двигателя

$$M_{\text{дв.пуск}} = M_{\text{ном}} \cdot M_{\text{пуск}} = 36.26 \cdot 2 = 72.52 \quad (13)$$

тогда выражение

$$\alpha_I \cdot M_{\text{дв.пуск}} = 0.81 \cdot 72.52 = 58.741 \quad (14)$$

Расчет правой части уравнения

Момент трогания рабочей машины

$$M_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{тр}}}{\omega_{\text{ном}}} \quad (15)$$

где $P_{\text{тр}} = 2 \cdot \text{кВт}$ - мощность за первый цикл работы. Берется из таблицы №1.

$\omega_{\text{ном}} = 151.7 \cdot \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ - номинальная угловая скорость вращения вала электродвигателя.

$$\text{Тогда } M_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{тр}} \cdot 1000}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 1000}{151.7} = 13.184 \cdot \text{Н} \cdot \text{м} \quad (16)$$

Получили $M_{\text{тр}} = 13.184 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$

Как видим, двигатель по пусковой способности выбран правильно

$$58,7412 > 13,184$$

2.3.2 Проверка электродвигателя по перегрузочной способности.

Для обеспечения статической устойчивости электропривода необходимо проверить двигатель на перегрузочную способность:

$$\alpha_2 \cdot M_{\text{дв.макс}} \geq M_{\text{макс.р.м}} \quad (17)$$

где α_2 - коэффициент, учитывающий снижение напряжения на клеммах работающего двигателя при пуске другого двигателя, равный

$$\alpha_2 = U_{\text{факт.ое}}^2 \quad (18)$$

$M_{\text{дв.макс}}$ - максимальный (критический) момент двигателя, Н*м;

$M_{\text{макс.р.м}}$ - максимальный момент рабочей машины .

Расчет левой части уравнения

$\alpha_2 = 0.81$ - ввиду того, что допускается снижение напряжения на зажимах работающего двигателя $\Delta U = 10$ %.

Максимальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.макс}} = M_{\text{тах}} \cdot M_{\text{ном}} = 2.2 \cdot 36.26 = 79.772 \cdot \text{Н} \cdot \text{м} \quad (19)$$

Таким образом левая часть неравенства равна

$$\alpha_2 \cdot M_{\text{дв.макс}} = 0.81 \cdot 79.772 = 64.615 \cdot \text{Н} \cdot \text{м} \quad (20)$$

Расчет правой части уравнения

Максимальный момент рабочей машины

$$M_{\text{макс.р.м}} = \frac{P_{\text{макс}}}{\omega_{\text{кр}}} \quad (21)$$

где $P_{\text{макс}} = 8 \cdot \text{кВт}$ - мощность берется из таблицы исходных данных, как наиболее максимальная.

$\omega_{\text{кр}}$ - критическая скорость находится из выражения

$$\omega_{\text{кр}} = \omega_0 \cdot (1 - s_{\text{кр}}) \quad (22)$$

$s_{\text{кр}}$ - критическое скольжение определяется как:

$$s_{\text{кр}} = \frac{s_{\text{ном}} \cdot \left[M_{\text{кр}} + \sqrt{M_{\text{кр}}^2 + 2 \cdot s_{\text{ном}} \cdot (M_{\text{кр}} - I)} \right]}{1 - 2 \cdot s_{\text{ном}} \cdot (M_{\text{кр}} - I)} \quad (23)$$

где $s_{НОМ} = 0.037$ - номинальное скольжение (таблица №4)

$M_{кр} = 2.2$ - кратность максимального момента (таблица №4)

тогда

$$s_{кр} = \frac{0.03683 \cdot [2.2 + \sqrt{2.2^2 + 2 \cdot 0.03683 \cdot (2.2 - 1)}]}{1 - 2 \cdot 0.03683 \cdot (2.2 - 1)} = 0.179 \quad (24)$$

тогда

$$\omega_{кр} = \omega_0 \cdot (1 - s_{кр}) \quad (25)$$

$$\text{где } \omega_0 = 157.5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\omega_{кр} = 157.5 \cdot (1 - 0.1786) = 129.37 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \quad (26)$$

таким образом правая часть неравенства

$$M_{\text{макс.р.м}} = \frac{P_{\text{макс}} \cdot 1000}{\omega_{кр}} = \frac{8 \cdot 1000}{129.4} = 61.824 \cdot \text{Н} \cdot \text{м} \quad (27)$$

$$64,6153 > 61,82$$

Таким образом двигатель по перегрузочной способности выбран правильно.

2.4 Метод средних потерь. Проверка выбранного двигателя по допустимому нагреву.

Номинальная мощность выбираемого асинхронного двигателя с к. з. ротором серии 4А или АИР принимается ближайшей наибольшей по каталожным данным (приложение А методических указаний).

Правильность выбора мощности электродвигателя, исходя из обеспечения его допустимого нагрева, уточняется методом средних потерь.

Основное условие метода средних потерь:

$$\Delta P_{ном} \geq \frac{\Delta P_{ср}}{P_T} \quad (28)$$

где $\Delta P_{ном}$ - номинальные потери мощности в электродвигателе, Вт;

$\Delta P_{ср}$ - средние потери мощности в электродвигателе;

P_T - уточненное значение коэффициента тепловой перегрузки.

2.4.1 Расчет уточненного значения коэффициента тепловой перегрузки - P_T .

После выбора конкретного электродвигателя можно рассчитать фактическое значение постоянной времени нагрева T_H , которую мы ранее приблизительно принимали 20 мин. для расчета ориентировочного значения коэффициента тепловой перегрузки P_T .

Фактическое (уточненное) значение T_H в минутах определяется по формуле:

$$T_H = 6,0 \cdot \frac{m \cdot v_H \eta_H}{P_H (1 - \eta_H)} \quad (29)$$

где $m = 56 \cdot кг$ - масса выбранного электродвигателя (таблица №4);

$\eta_{ном} = 84,5 \%$ - номинальный КПД двигателя (таблица №4);

$P_{ном} = 5,5 \cdot кВт$ - номинальная (паспортная) мощность электродвигателя (таблица №4);

$v_H = 80 \text{ } ^\circ C$ - номинальное превышение температуры обмотки статора электродвигателя при измерении методом сопротивления. Для изоляции нагревостойкости "В"

тогда уточненное значение постоянной времени нагрева

$$T_H = \frac{6 \cdot 56 \cdot 80 \cdot 0,845}{5,5 \cdot 10^3 \cdot (1 - 0,845)} = 26,644 \cdot мин \quad (30)$$

Далее рассчитывается фактический (уточненный) коэффициент тепловой перегрузки электродвигателя P_T по формуле (31) с использованием фактического (уточненного) значения постоянной времени нагрева T_H , рассчитанной по формуле (30).

$$P_T = \frac{1 - e^{-\frac{t_{раб} + \beta \cdot t_0}{T_H}}}{1 - e^{-\frac{t_{раб}}{T_H}}} = \frac{1 - e^{-\frac{52 + 0.5 \cdot 12}{26.644}}}{1 - e^{-\frac{52}{26.644}}} = 1.03 \quad (31)$$

2.4.2 Расчет номинальных потерь мощности.

Номинальные потери мощности ΔP_H в Вт рассчитываются по известной номинальной мощности выбранного электродвигателя P_H , выраженной в Вт, и по известной величине номинального КПД ($\eta_{ном}$) по выражению:

$$\Delta P_H = P_{ном} \cdot 1000 \cdot \frac{1 - \eta_{ном}}{\eta_{ном}} = 5.5 \cdot 1000 \cdot \frac{1 - 0.845}{0.845} = 1.009 \times 10^3 \cdot Вт \quad (32)$$

2.4.3 Расчет средних потерь мощности.

Средние потери мощности в электродвигателе определяются по выражению

$$\Delta P_{CP} = \frac{\sum_1^n \Delta P_i \cdot t_i}{\sum_1^n t_i} \quad (33)$$

где ΔP_i - потери мощности в электродвигателе для i -го периода работы, Вт.
 t_i - продолжительность периода, мин.

Потери мощности на каждом участке (ΔP_i) определяются по выражению:

$$\Delta P_i = P_i \cdot \frac{1 - \eta_i}{\eta_i} \quad (34)$$

где P_i - нагрузка на валу электродвигателя для i -го периода работы, Вт;

η_i - КПД электродвигателя при P_i нагрузке, который рассчитывается по выражению:

$$\eta_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \eta_H}{\eta_H} \right) \cdot \frac{\frac{\alpha}{\alpha + 1} + x}{\alpha + 1}} \quad (35)$$

где $\alpha = 0.6$ - отношение постоянных потерь мощности электродвигателя к переменным, выбирается по таблице 11 методических указаний;

$$x = \frac{P_i}{P_{НОМ}} \text{ - нагрузка двигателя} \quad (36)$$

Определяем сперва нагрузку двигателя по участкам

1 - й участок

$$x_1 = \frac{P_1}{P_{НОМ}} = \frac{2}{5.5} = 0.364 \quad (37)$$

2 - й участок

$$x_2 = \frac{P_2}{P_{НОМ}} = \frac{8}{5.5} = 1.455 \quad (38)$$

3 - й участок

$$x_3 = \frac{P_3}{P_{НОМ}} = \frac{4}{5.5} = 0.727 \quad (39)$$

1 - й участок

$$x_4 = \frac{P_4}{P_{НОМ}} = \frac{2}{5.5} = 0.364 \quad (40)$$

Определяем КПД двигателя η_i

участок 1

$$\eta_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \eta_{НОМ}}{\eta_{НОМ}} \right) \cdot \left(\frac{\frac{\alpha}{x_1} + x_1}{\alpha + 1} \right)} = \frac{1}{1 + \frac{1 - 0.845}{0.845} \cdot \frac{\frac{0.6}{0.3636} + 0.3636}{0.6 + 1}} = 0.8124 \quad (41)$$

Для 2,3,4 участков КПД находим аналогично. Полученные значения заносим в таблицу 3.

Потери мощности:

1 - й участок

$$\Delta P_1 = P_1 \cdot \frac{1 - \eta_1}{\eta_1} = 2 \cdot \frac{1 - 0.8124}{0.8124} = 0.4618 \quad \text{кВт} \quad (42)$$

Для 2,3,4 участков ΔP находим аналогично. Полученные значения заносим в таблицу 3.

Средние потери мощности в электродвигателе

$$\Delta P_{cp} = \frac{\Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_2 \cdot t_2 + \Delta P_3 \cdot t_3 + \Delta P_4 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} \quad (43)$$

$$\Delta P_{cp} = \frac{0.4618 \cdot 22 + 1.713 \cdot 12 + 0.7118 \cdot 8 + 0.4617 \cdot 10}{22 + 12 + 8 + 10} = 0.789 \cdot \text{кВт} \quad (44)$$

тогда

$$\frac{\Delta P_{cp}}{P_T} = 0.766 \cdot \text{кВт} \quad (45)$$

Таблица 5. Расчетные данные по загрузке электродвигателя, КПД и потерь мощности на каждом участке.

Значение	Участок			
	1-й	2-й	3-й	4-й
Мощность на участке, кВт	2	8	4	2
Коэффициент α , о.е.	0,6	0,6	0,6	0,6
Загрузка двигателя, X, о.е.	0,3636	1,455	0,7273	0,3636
КПД на участке, о.е.	0,8124	0,82367	0,84893	0,81243
Номинальное КПД, о.е	0,845	0,845	0,845	0,845
Потери мощности на участке, кВт	0,4618	1,713	0,7118	0,4617

должно выполняться условие $\Delta P_{ном} \geq \frac{\Delta P_{cp}}{P_T} \quad (46)$

$$1008,9 > 766$$

Условие выполняется, двигатель подобран правильно.

3. Расчет динамики электропривода.

3.1 Расчет и построение механической характеристики двигателя

Таблица 6. Исходные данные для расчета электропривода (приложение 5)

Асинхронный двигатель (АД)							Рабочая машина (РМ)						
Р _{ном}	п.ном	M _к	M _{min}	M _n	J _{дв}	U%	η.дв	п.раб.м	M _{тр}	M _n	J _{рм}	х	η.пер
кВт	об/мин	о.е	о.е	о.е	кг*м ²	%	%	об/мин	H*м	H*м	кг*м ²	о.е	о.е
1,5	930	2,2	1,6	1,8	0,006	30	76	310	3	25	0,06	1	0,75

Механическую характеристику асинхронного электрического двигателя строим по каталожным или паспортным данным.

Первая точка – точка синхронной скорости имеет следующие координаты: момент равен нулю и скорость вращения равна синхронной, т. е. $M=0$ и $\omega = \omega_0$.

p – число пар полюсов.

Синхронная скорость (об/мин) двигателя определяется как . Поэтому синхронная скорость принимает строго определенные значения: 3000 об/мин., 1500 об/мин., 1000 об/мин. и т.д.

Связь между ω (рад/с), и n (мин⁻¹), осуществляется по выражению:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} \approx 0.105 \cdot n_0 \quad (47)$$

тогда

$$\omega_0 = 0.105 \cdot n_0 = 0.105 \cdot 1000 = 105.0 \quad \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Вторая точка – точка с номинальными параметрами имеет координаты: момент равен номинальному, скорость равна номинальной ($M = M_{ном}$ и $\omega = \omega_{ном}$).

Номинальная скорость вращения в мин.⁻¹ ($n_{ном}$) берется из паспорта, а в рад/с ($\omega_{ном}$) находится их выражения:

$$\omega_{ном} = 0.105 \cdot n_{ном} = 0.105 \cdot 930.0 = 97.65 \quad \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальный момент равен

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{1500.0}{97.65} = 15.36 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad (48)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность электродвигателя (Вт); $\omega_{ном}$ – номинальная скорость вращения двигателя (рад/с).

Точка номер три соответствует критическому моменту и имеет координаты: момент равен максимальному или критическому, соответственно скорость равна критической ($M = M_{кр}$ и $\omega = \omega_{кр}$).

Максимальный (критический) момент находится из выражения:

$$M_{кр} = \frac{M_{кр}}{M_{ном}} \cdot M_{ном} = M_{*кр} \cdot M_{ном} \quad (49)$$

где $M_{кр}' = \frac{M_{кр}}{M_{ном}}$ - кратность критического момента (это безразмерная величина, указываемая в паспортных данных); $M_{ном}$ - номинальный момент двигателя.

$$M_{кр} = 2.2 \cdot 15.36 = 33.792 \quad Н \cdot м$$

Критическая скорость вращения определится из выражения

$$\omega_{кр} = \omega_0 \cdot (1 - S_{кр}) \quad (50)$$

где $S_{кр}$ - критическое скольжение.

$$S_{кр} = S_{ном} \cdot \left(\mu_{кр} + \sqrt{\mu_{кр}^2 - 1} \right) \quad (51)$$

где $S_{ном}$ - номинальное скольжение

$$S_{ном} = \frac{n_0 - n_{ном}}{n_0} = \frac{1000 - 930.0}{1000} = 0.07 \quad (52)$$

Тогда критическое скольжение

$$S_{кр} = 0.07 \cdot \left(2.2 + \sqrt{2.2^2 - 1} \right) = 0.291$$

Тогда частота вращения двигателя при критическом скольжении

$$\omega_{кр} = 105.0 \cdot (1 - 0.291) = 74.445 \quad \frac{рад}{с}$$

Четвертая точка - точка минимального момента.

$$M_{мин}' = \left[\frac{M_{мин}}{M_{ном}} \right] \cdot M_{ном} \quad (53)$$

где $\left[\frac{M_{мин}}{M_{ном}} \right]$ - кратность минимального момента к номинальному

$$M_{мин} = 1.6 \cdot 15.36 = 24.576 \quad Н \cdot м$$

угловая скорость вращения, соответствующая минимальному моменту

$$\omega_{\min} = \frac{1}{7} \cdot \omega_0 = \frac{1}{7} \cdot 105.0 = 15.0 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \quad (54)$$

Пятая точка - точка пускового момента

$$M_{\text{пуск}} = \left[\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} \right] \cdot M_{\text{ном}} \quad (55)$$

$\left[\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} \right]$ - кратность пускового момента к номинальному

$$M_{\text{пуск}} = 1.8 \cdot 15.36 = 27.648 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Полученные данные сводим в таблицу 1

Таблица 7

Координаты	Номер точки				
	1	2	3	4	5
$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	0	15,36	33,79	24,58	27,65
$\omega, \text{рад/с}$	105	97,65	74,45	15	0

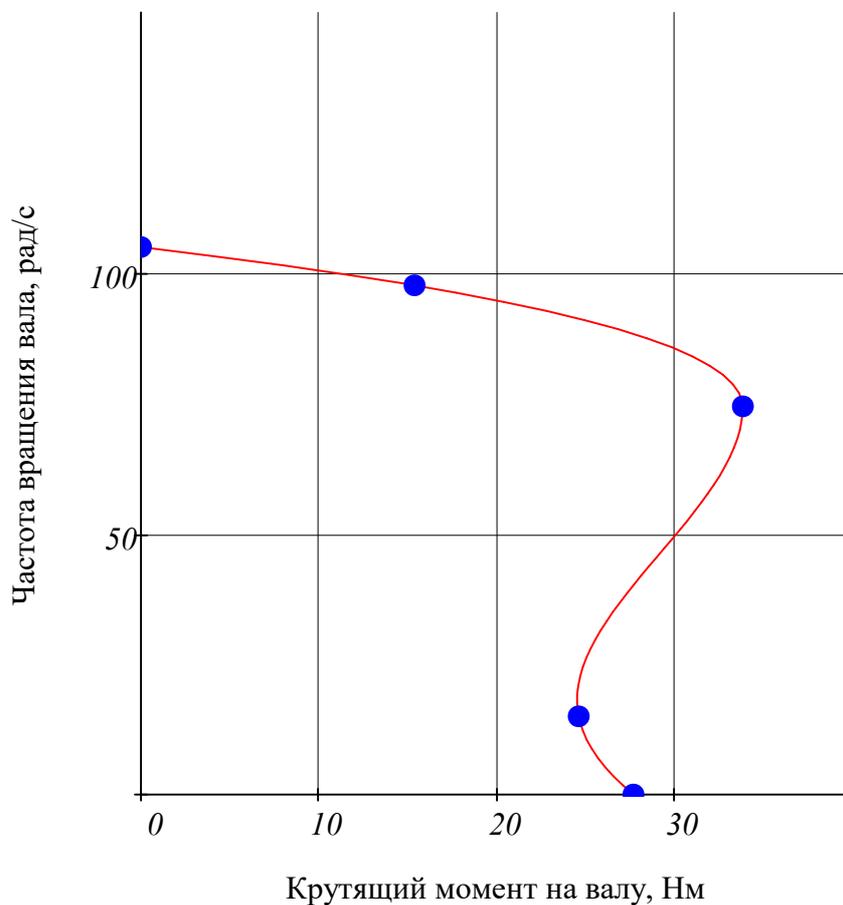


Рис2. Механическая характеристика асинхронного двигателя

3.2 Расчет и построение механической характеристики рабочей машины

В виду того, что номинальная скорость рабочих машин практически всегда меньше номинальной скорости асинхронного электродвигателя, то для того чтобы графически решить основное уравнение движения электропривода, скорость рабочей машины приводят к скорости вращения электродвигателя.

В этом случае используют приведенный момент сопротивления рабочей машины, который определяется по выражению:

$$M_{C_пр} = \frac{1}{i \cdot \eta_{пер}} \left(M_{тр} + (M_{C_ном} - M_{тр}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{ном.дв}} \right)^x \right) \quad (56)$$

где i – передаточное отношение, равное

$$i = \frac{n_{ном}}{n_{раб.м}} = \frac{930.0}{310.0} = 3.0$$

$$\eta_{пер} = 0.75 \quad - \text{КПД передачи}$$

Момент сопротивления привода для всех 5 режимов равен

1 точка

$$M_{C_np1} = \frac{1}{i \cdot \eta_{пер}} \left[M_{тр} + (M_H - M_{тр}) \cdot \left(\frac{\omega_0}{\omega_{ном}} \right)^x \right]$$

$$M_{C_np1} = \frac{1}{3.0 \cdot 0.75} \left[3.0 + (25.0 - 3.0) \cdot \left(\frac{105.0}{97.65} \right)^{1.0} \right] = 11.847 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$$

2 точка

$$M_{C_np2} = \frac{1}{i \cdot \eta_{пер}} \left[M_{тр} + (M_H - M_{тр}) \cdot \left(\frac{\omega_{ном}}{\omega_{ном}} \right)^x \right]$$

$$M_{C_np2} = \frac{1}{3.0 \cdot 0.75} \left[3.0 + (25.0 - 3.0) \cdot \left(\frac{97.65}{97.65} \right)^{1.0} \right] = 11.111 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$$

3 точка

$$M_{C_np3} = \frac{1}{i \cdot \eta_{пер}} \left[M_{тр} + (M_H - M_{тр}) \cdot \left(\frac{\omega_{кр}}{\omega_{ном}} \right)^x \right]$$

$$M_{C_np3} = \frac{1}{3.0 \cdot 0.75} \left[3.0 + (25.0 - 3.0) \cdot \left[\frac{105.0 \cdot (1 - 0.291)}{97.65} \right]^{1.0} \right] = 8.788 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$$

4 точка

$$M_{C_np4} = \frac{1}{i \cdot \eta_{пер}} \cdot \left[M_{mp} + (M_H - M_{mp}) \cdot \left(\frac{\omega_{мин}}{\omega_{ном}} \right)^x \right]$$

$$M_{C_np4} = \frac{1}{3.0 \cdot 0.75} \cdot \left[3.0 + (25.0 - 3.0) \cdot \left(\frac{15.0}{97.65} \right)^{1.0} \right] = 2.835 \cdot H \cdot м$$

5 точка

$$M_{C_np5} = \frac{1}{i \cdot \eta_{пер}} \cdot \left[M_{mp} + (M_H - M_{mp}) \cdot \left(\frac{0}{\omega_{ном}} \right)^x \right]$$

$$M_{C_np5} = \frac{1}{3.0 \cdot 0.75} \cdot \left[3.0 + (25.0 - 3.0) \cdot \left(\frac{0}{97.65} \right)^{1.0} \right] = 1.333 \cdot H \cdot м$$

по полученным данным строим механическую характеристику рабочей машины

Таблица 8

Координаты	Номер точки				
	1	2	3	4	5
$M_c, Н*м$	11,85	11,11	8,788	2,835	1,333
$\omega, рад/с$	105	97,65	74,45	15	0

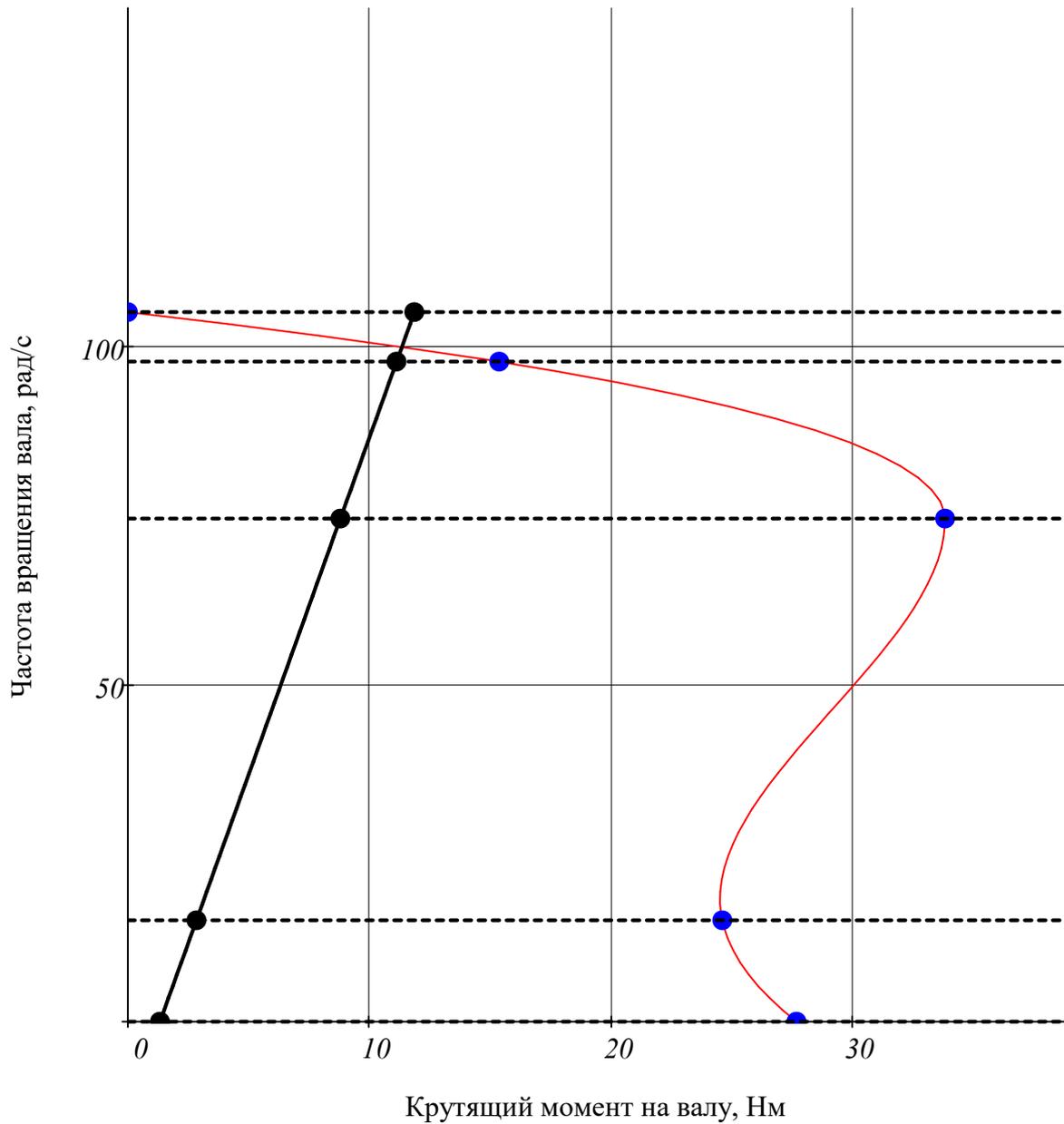


Рис.3 Совмещенная механическая характеристика рабочей машины и двигателя

3.3 Определение продолжительности пуска электродвигателя с нагрузкой

Продолжительность пуска электродвигателя определяются двумя способами: графическим и графоаналитическим.

а) Методика определения времени запуска (пуска) электропривода графическим способом при нормальном напряжении питания.

б) Методика определения времени запуска (пуска) электропривода графоаналитическим способом при снижении питающего напряжения на ΔU % от его номинального значения (по заданию).

В этом случае необходимо построить искусственную механическую характеристику АД при пониженном напряжении на ΔU от его номинального значения (по заданию).

В этом случае необходимо построить искусственную механическую характеристику

Построим искусственную механическую характеристику, при занижении напряжения на

$$\Delta U_{\%} = 30\%$$

Составляя пропорцию

$$M_{ест} \equiv U_{ном}^2 \quad (57)$$

$$M_{иск} \equiv U_{иск}^2 = [(1 - \Delta U_{\%}) \cdot U_{ном}]^2 = (1 - \Delta U_{\%})^2 \cdot U_{ном}^2 = (1 - \Delta U_{\%})^2 \cdot M_{ест}$$

тогда $M_{иск.дв} = M_{дв} \cdot [(1 - \Delta U_{\%})^2] = M_{дв} \cdot 0.49$ (58)

Строим совмещенную механическую характеристику по точкам

Таблица 9

Координаты	Номер точки				
	1	2	3	4	5
$M_{дв}, Н^*м$	0	15,36	33,79	24,58	27,65
$M_c, Н^*м$	11,85	11,11	8,788	2,835	1,333
$M_{иск.дв}, Н^*м$	0	7,526	16,56	12,04	13,55
$\omega, рад/с$	105	97,65	74,45	15	0

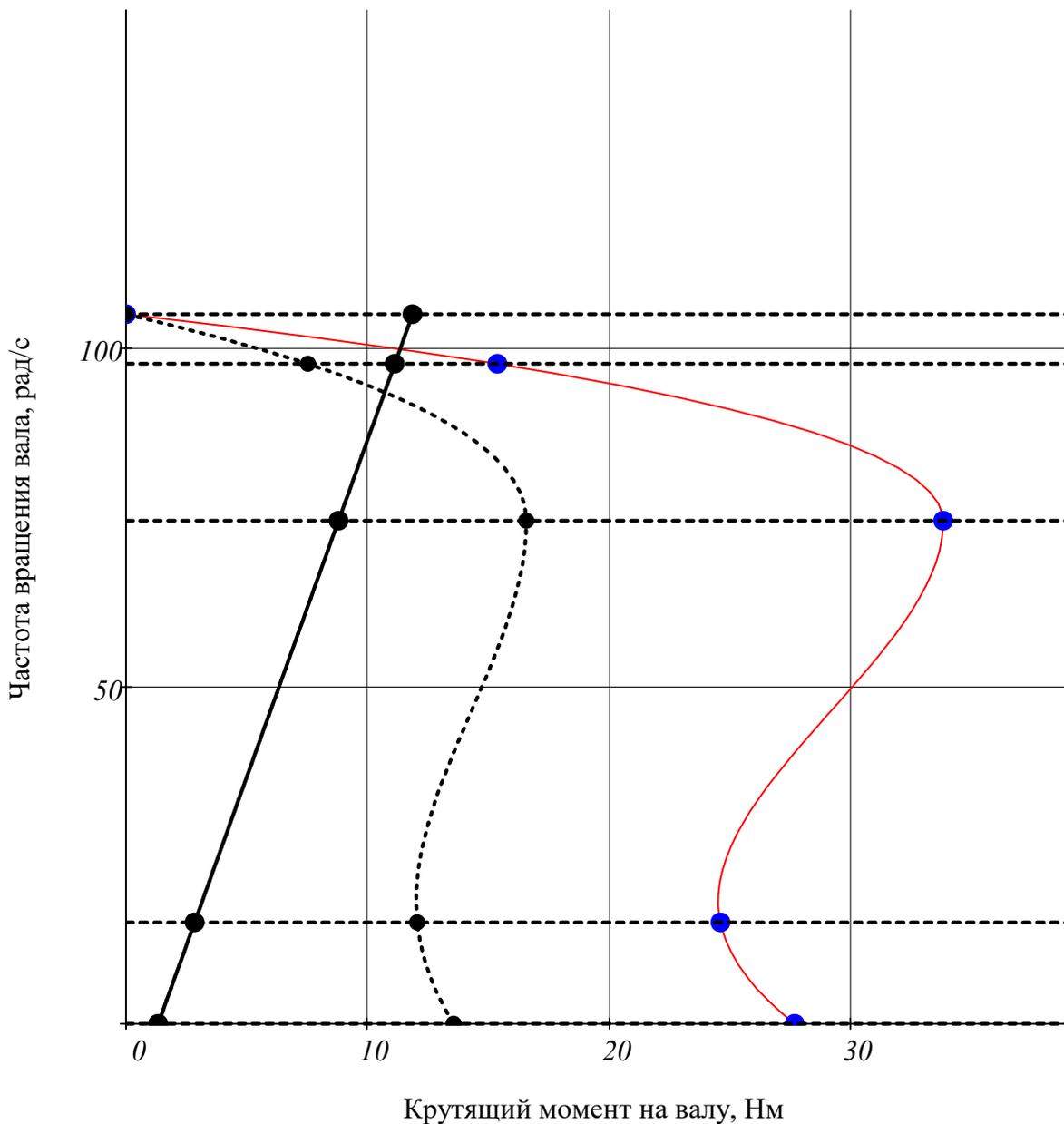


Рис 4. Совмещенная механическая характеристика с учетом падения напряжения на обмотках двигателя $\Delta U_{\%} = 30\%$

Двигатель запустится при падении напряжения в сети, необходимо произвести расчет времени запуска двигателя в данном режиме

Определяем динамический момент

$$M_{дин} = M_{дв.иск} - M_c = J_{прив} \cdot \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = M_{изб} \quad (59)$$

где $J_{прив} = 1.2 \cdot J_{дв} + \frac{J_{р.м}}{i^2}$ - приведенный момент сопротивления системы "асинхронный двигатель - рабочая машина" (60)

$J_{р.м}, J_{дв}$ - моменты сопротивления рабочей машины и двигателя соответственно.

$i = 3$ - передаточное отношение

$$J_{прив} = 1.2 \cdot J_{дв} + \frac{J_{рм}}{i^2} = 1.2 \cdot 0.006 + \frac{0.06}{3^2} = 0.0139 \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2 \quad (61)$$

Полученный графическим способом динамический момент является сложной функцией. Поэтому, используя метод площадей, его заменяют прямоугольниками. Обычно для обеспечения точности расчетов достаточно 5...7 прямоугольников. В каждом прямоугольнике сторона, параллельная оси абсцисс – представляет собой $M_{дин}$ на конкретной ступени в Н*м. Другая сторона, параллельная оси ординат, представляет собой соответствующее для этого участка приращение скорости $\Delta\omega_i$

Разобьем кривую динамического момента на $h = 7$ прямоугольников

Значения динамических моментов для каждого сектора приведены в таблице 10

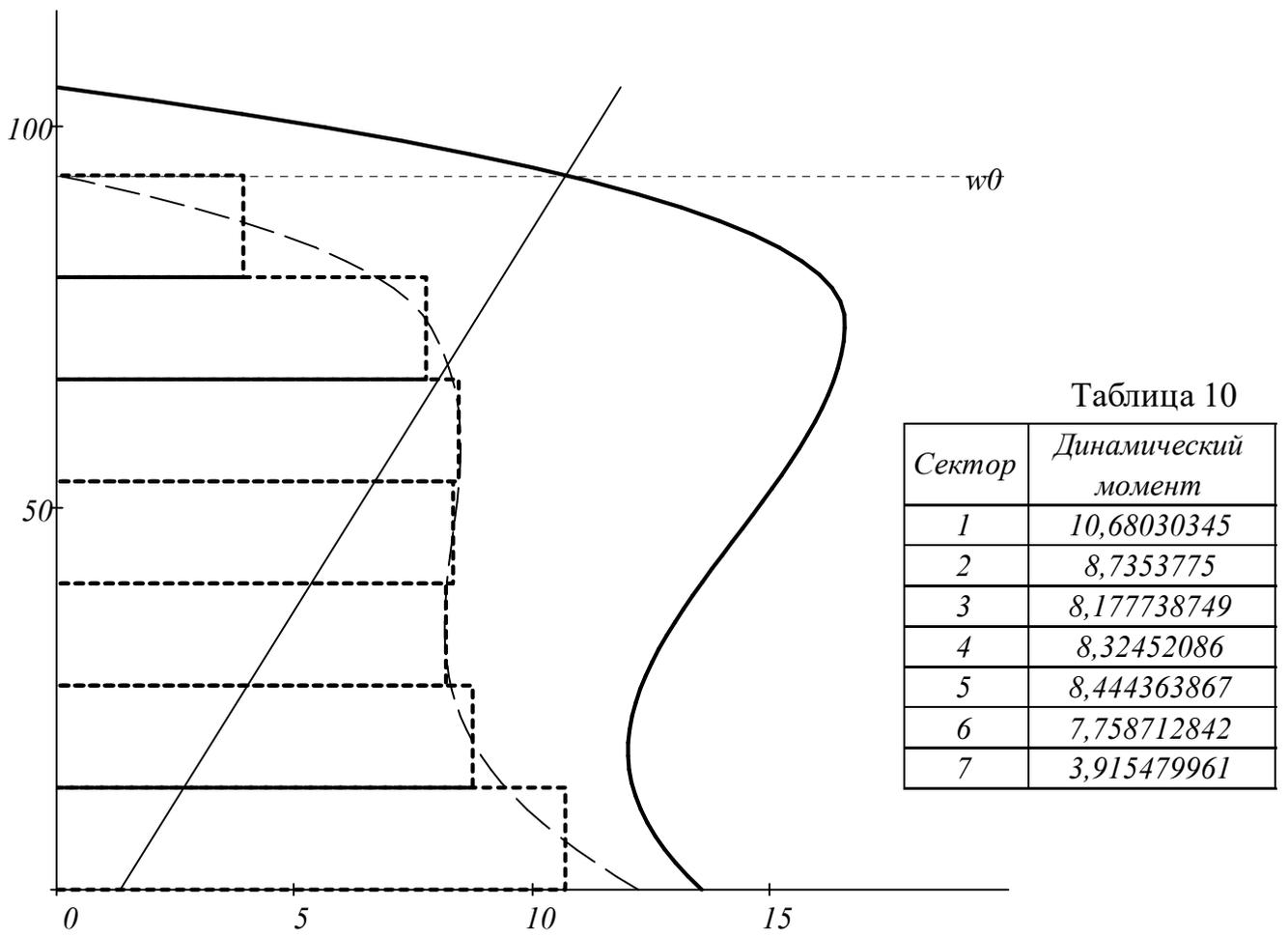


Рис 5. Разбиение характеристики динамического момента на $h = 7$ прямоугольников

3.3.1 Определение времени разгона электродвигателя графоаналитическим методом

Приращенная угловая скорость вращения каждого сектора

$$\Delta\omega = 13.353 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Динамические моменты $M_{\text{дин}}$

Сектор	Динамический момент
1	10,68030345
2	8,7353775
3	8,177738749
4	8,32452086
5	8,444363867
6	7,758712842
7	3,915479961

Время приращения скорости

$$\Delta t = J_{\text{прив}} \cdot \frac{\Delta\omega}{M_{\text{дин}}}$$

Тогда время приращения

Сектор	Динамический момент
1	0,017378143
2	0,021247376
3	0,022696231
4	0,02229604
5	0,021979613
6	0,023921989
7	0,047402578

Общее время разгона (суммируем все значения расчетного времени)

$$t_{\text{разг}} = \sum \Delta t = 0.177 \text{ с}$$

3.3.2 Определение времени разгона электродвигателя графическим методом

Развернем график механической характеристики в противоположную сторону, создав тем самым "второй квадрант". На оси абсцисс откладываем точку А и измеряем расстояние от начала координат до точки. Получим отрезок ОА

$$OA = 1 \text{ см}$$

Задаемся масштабом циклической частоты

$$\mu_{\omega} = \frac{\omega_0}{10} = 10.5 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \quad (62)$$

Задаемся масштабом моментом инерции привода

$$\mu_J = \frac{J_{\text{прив}}}{OA} = 0.014 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{см}} \quad (63)$$

Задаемся масштабом крутящего момента

$$\mu_M = \frac{M_{\text{КР}} \cdot (1 - \Delta U_{\%})^2}{8} = 2.07 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{см}} \quad (64)$$

Вычерчиваем отрезки от точки А до значения на оси ординат, равном динамическому моменту для каждого сектора.

Вечерчиваем последовательно в "1 квадранте" приращение отрезка, соответствующего собственному сектору на длину этого сектора. Складывая последовательно приращение отрезка в каждом секторе получим ломаную кривую с окончанием в точке В`

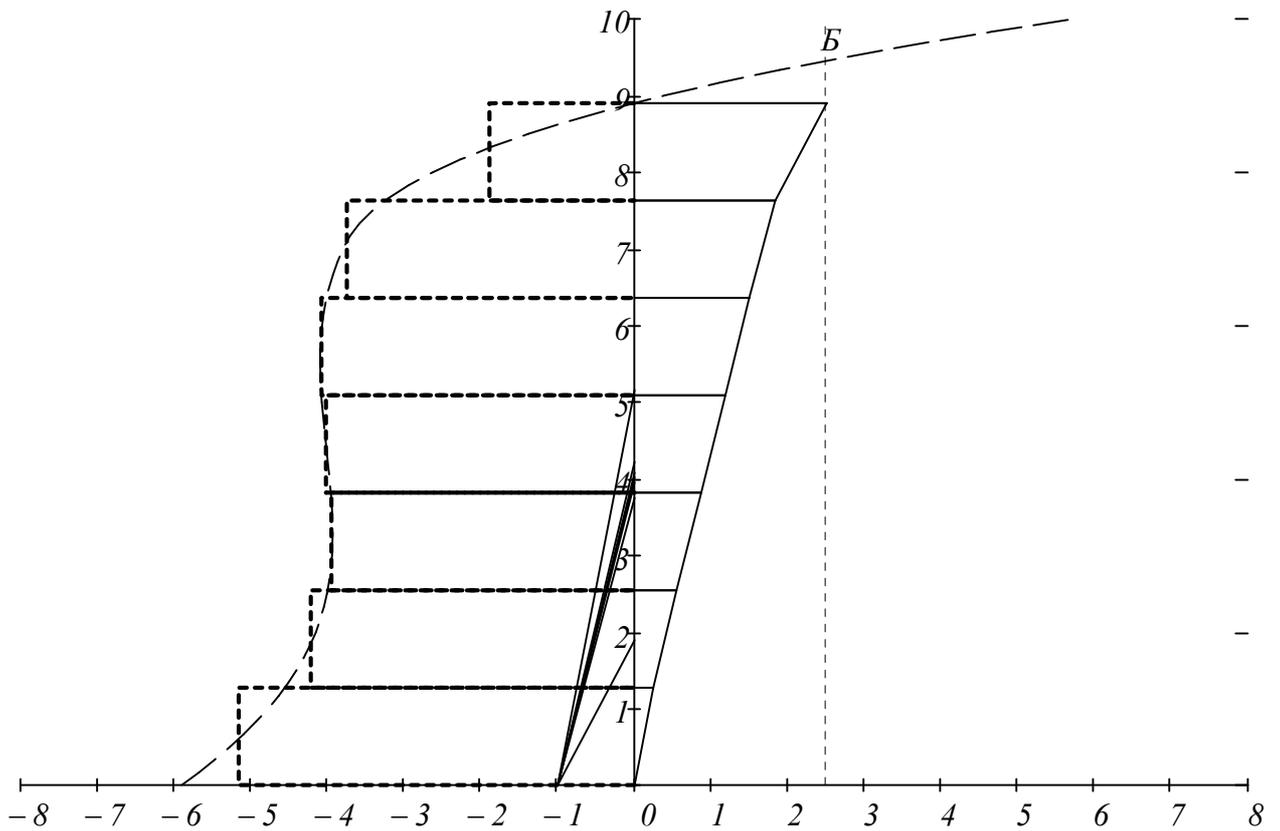


Рис. 6 Графический метод определения времени пуска

Как видим из полученного графика отрезок $OB = 2.51 \text{ см}$

Масштаб времени

$$\mu_t = \mu_J \cdot \frac{\mu_\omega}{\mu_M} = 0.0139 \cdot \frac{10.5}{2.07} = 0.07051 \quad \frac{\text{с}}{\text{см}} \quad (65)$$

Таким образом, время разгона

$$t_{\text{разг}} = OB \cdot \mu_t = 2.51 \cdot 0.07051 = 0.177 \text{ с} \quad (66)$$

в нашем случае пуск легкий $t_{\text{пуск}} < 1,5 \text{ с}$

3.4 Расчет потерь электроэнергии в асинхронном двигателе.

Потери энергии в асинхронном двигателе при номинальном напряжении питания и пуске системы?

а) под нагрузкой

$$\Delta A_{\text{нагр}} = 0,81 \cdot \Delta P_{\text{НОМ}} \cdot I_{* \text{ПУСК}}^2 \cdot t_{\text{ПУСК}} \quad (67)$$

$$\text{где } \Delta P_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}} \quad - \text{номинальные потери в двигателе} \quad (68)$$

$\eta_{\text{НОМ}} = 0.76$ - номинальный КПД двигателя

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = 1500.0 \cdot \frac{1 - 0.76}{0.76} = 473.684 \quad \text{Дж}$$

$I_{\text{пуск}} = 6$ - кратность пускового тока

$t_{\text{пуск}} = t_{\text{разг}} = 0.177$ с - время пуска электропривода

тогда

$$\Delta A_{\text{нагр}} = 0.81 \cdot 474.0 \cdot 6^2 \cdot 0.177 = 2.446 \times 10^3 \quad \text{Дж}$$

без нагрузки

$$\Delta A_{\text{хх}} = J_{\text{дв}} \cdot \omega_0^2 = 0.006 \cdot 105.0^2 = 66.15 \quad \text{Дж} \quad (69)$$

Заключение

В результате выполнения курсовой работы были закреплены основные правила расчета электропривода:

1. Определение марки двигателя в зависимости не только от потребной нагрузки, но и других факторов, играющих немаловажную роль.
2. Определение времени разгона электродвигателя, что немаловажно для не только успешного выполнения технологического процесса, но и недопущения перегрева обмотки статора электродвигателя.
3. Общее представление о работе электродвигателя в связке с рабочей машиной.

Список использованной литературы

1. Коломиец, А.П. Электропривод и электрооборудование /А.П. Коломиец, Н. П.Кондратьева, И. Р. Владыкин, С. И.Юран.П. // Учебники и учебные пособия для высших учебных заведений. - М.:КолосС, - 2008. - 328 с.
2. Кондратьева, Н.П. Электропривод [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://192.168.88.95/index.php?q=docs&download=1&parent=1873&id=8905> . Язык русский. Дата обращения 13.01.2018
3. Кондратьева, Н.П. Электропривод [Электронный ресурс]. <http://portal.izhgsha.ru/docs/2473098316.doc>